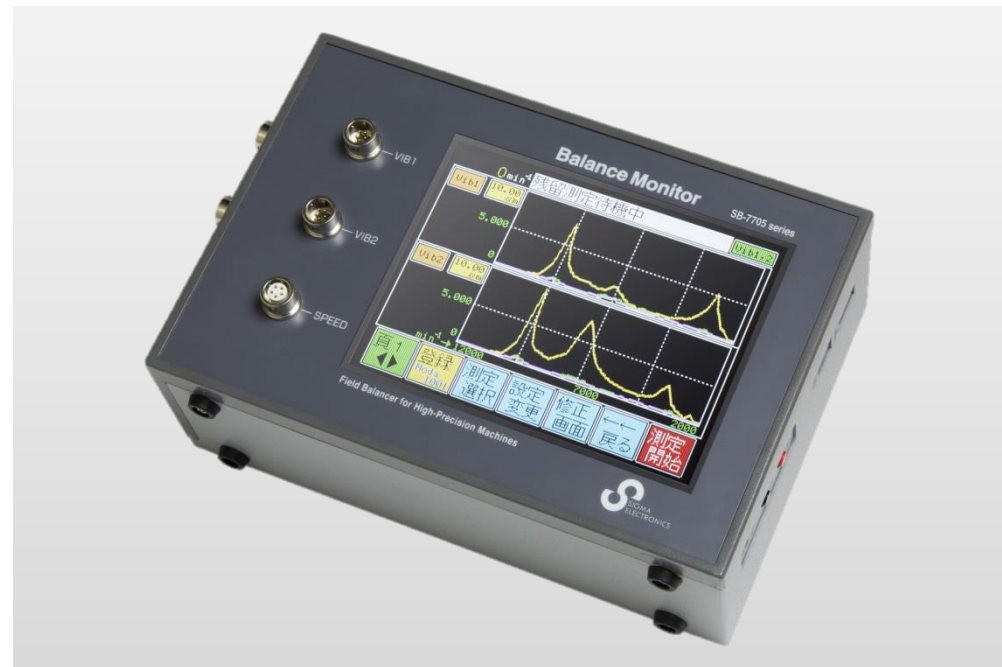
フィールドバランシングの予備知識

シグマ電子工業株式会社

目次

1. はじめに

　フィールドバランサーは，バランシングしようとする回転機械の軸受けや回転機構を使ってバランシングをする測定器です。

　そのため，振動・回転センサーの設置方法，および修正面数・回転速度の選択はバランシング精度に大きな影響を与えます。

写真－1　多速度バランサー　SB-7705

1-1 機械振動の予備知識

回転機械から発生する振動は，一般的に**強制振動と自励振動に大別**できます。

1**) 強制振動は回転機械が回転することにより発生するアンバランス振動等**で，自分自身を振動させたり外部から伝わってくる振動周波数に等しいか，その整数倍の振動周波数を発生します。この強制力の**振動周波数と回転軸(バネ質点系)の固有振動数が一致するとき共振現象が発生します。これを回転機械の危険速度**と呼びます。

2**) 自励振動は，回転機械の回転数とは無関係に発生する振動**で，回転体の固有振動数かその近傍で突然振動が増大し，**外力を加えるとその振動量が増減**したり，一般的に**定常状態にならず，再現性に乏しい特長があります**。

3) 回転機械は，多数の部品から構成されている，例えば**コロガリ軸受け**に注目すると，外輪内輪，転動体，保持器，軸受ハウジングなどを組合せて回転を効率良く行えるように設計製作されている。これらの部品は，いずれも**弾性体(バネ質点系)であり，アンバランス振動などの外力が加わると固有振動数で振動**する事になります。

4) **回転機械は，これら弾性体を直列や並列に複雑に組合**せています。一方，回転機械から発生している振動を観測すると，アンバランスによる振動と，様々な周波数成分を持つ**固有振動に起因する振動が発生**しています。

5) コロガリ軸受けを採用した回転機械に於いて，**高速回転域に突入してアンバランス振動の影響が大きくなる**と，軸受けの負担が大きくなり，軸受け部品の不均一による**固有振動を助長させ，剛体ロータであった回転体が弾性ロータに変身**して，やっかいな問題が発生する事があります。

写真－２　一定速バランサー　SB-8802R

1-2 圧電型加速度センサーの取扱上の注意点

1)　圧電型加速度センサーと信号ケーブルの絶縁抵抗の維持は極めて大切です。

圧電型加速度センサー(以下振動センサと呼ぶ)は，電圧出力ではなく電荷出力のセンサーです。出力インピーダンスは約1000MΩと極めて高く，信号ケーブルを含めて絶縁抵抗を高く維持する必要があります。

ここで，絶縁抵抗が低下すると雑音電荷Qnが増大して計測精度が低下します。著しい絶縁低下は計測不能となる場合があります。

2) 振動センサーの取扱は丁寧に，強い衝撃を加えないように注意して下さい。

強い衝撃力は振動センサー内部の圧電素子・ウエィトの固定位置を変化させ，その感度特性，及び共振周波数を低下させるだけでなく，極端な場合は圧電素子が破損する恐れがあります。

3) 振動センサーの設置位置は，軸受けの近くで，剛性の高い場所を選びます。

一般的な回転機械の軸受ハウジングは表面に出ています。図面などを参考にして，なるべく修正面と軸受面間の剛性の高い箇所に，振動センサーを設置する必要があります。これはバランシング精度大きな影響を与えます。

4) 振動センサーの設置方法で感度が変化しますので，設置面は平坦な場所を選びます。

圧電型加速度センサーは，数Hzから数10KHzまでの広い周波数特性を持っていますが，その取付け方によって接触共振周波数が大きく変化します。

平坦な場所では弊社製品の付属マグネット(KM-025C)を使用できますが，設置面が凸凹面ですとマグネットの吸着力が低下し，30,000rpmを超える高速回転機械に於いては，接触共振により高周波の振動成分が変化して正確なバランシングができなくなる恐れがあります。凸凹面は，ヤスリや紙ヤスリで平坦に仕上げてセンサーを設置するか，凸凹面にシリコングリス等を塗布して下さい。また，振動センサーの設置箇所が，球面の場合は弊社のオプション製品のV型マグネットを利用して下さい。

5) 振動センサーの質量は，測定対象物の質量の1/5以下のものを選択すべきです。

測定対象物の質量に，振動センサーの質量が加わった状態で，アンバランス振動を測定しています。振動センサー＋マグネットの質量は数百グラムであるので（V型マグネット＋P12S＝240g）一般的なバランシング作業で問題となることはありません。しかし，測定対象物が軽量の場合は，振動センサーの質量が無視できなくなり，本来のアンバランス振動量を低下させます。振動センサーのマグネットを外し，ネジ固定するか，接着剤で固定するなどを検討して下さい。

6) 振動センサケーブルの揺れ対策は充分ですか?

　ケーブルが揺れるとシールド部と絶縁体が離れ，摩擦により雑音電荷Qnを発生し，本来は振動センサーの発生する電荷Qsと合成された，電荷量Qn＋Qsが振動計測部に入力されるため計測誤差が発生する事になります。このため，ケーブルの揺れによる計測誤差を最小にするには，ケーブル敷設時に固定して雑音電荷Qnの発生を極力抑える必要があります。

7) 測定対象からの漏電対策は充分ですか。

　測定対象物からの漏電により，振動センサケーブルから振動計測部に漏電電流が流れて，アンバランス振動量を変動させ，バランシングに弊害を与え，また漏電が激しい場合は振動計測部を破損する事があります。これらの対策として，振動センサーに絶縁ユニットの使用を推奨します。

8) 振動ケーブルをモータ等のノイズ源に近づけてた配線を避けましょう。

　モータが発生する高周波ノイズ(インバータ運転)の影響を受ける可能性があります。モータ本体および動力配線から振動センサーのケーブルを遠ざけて配線して下さい。

9) 高温機械部へ瞬間接着剤を使用した振動センサーの固定は注意が必要です。

　一般的な瞬間接着剤は高温に弱いため，高温になると接着力が低下して振動センサーが脱落し，二次災害の危険性があります。その対策として高温に強い接着剤を使用するか，ネジなどで確実に固定して下さい。

1-3 回転センサーを設置する際の注意点

1) 安全面を考慮して，マグネットスタンドは確実に固定して下さい。

　回転センサーを固定するマグネットスタンドを設置する際の注意点は，振動センサーのマグネットと同様に設置面に凸凹がない箇所を選んで下さい。過度の振動によりマグネットスタンドが外れ人身事故を引き起す可能性がありますので，安全面には特別の注意して下さい。(回転体に注意)

2)回転センサーの信号ケーブルをインバータ配線等のノイズ源から遠ざけて下さい。

3) 反射シールを貼り付ける箇所は必ず脱脂処理をして下さい。回転中に反射シールが剥がれ，計測が不能となるばかりでなく，人身事故の恐れもあります。

4) 回転センサーの感度調整は重要です。取扱説明書を参照して実施して下さい。

2. バランス修正前に対象機械を調査

回転機械の異常振動を発見した場合，その原因を究明するのは当然です。

本項の目的は**効率的なバランシングを行うための事前の調査です。**

即ち，**回転機械から発生する周期振動を測定し，振動の主原因がアンバランス振動によるものか，あるいは別の原因によるものかを調査**して，バランシング作業を効率的に行うための事前調査です。

写真－3　SB-8001GB　SB-8802RB

2-1 回転ムラのある回転機械に対するバランシングの注意点

1）アンバランス振動は，**回転数Nの二乗に比例して増減し**，バランシング精度に直接的に影響を与えます。

2） このため，弊社製品は**回転数の変動が初期測定時に対して±2%を超えるとアラーム**を発砲し，その後の測定に対して警告します。

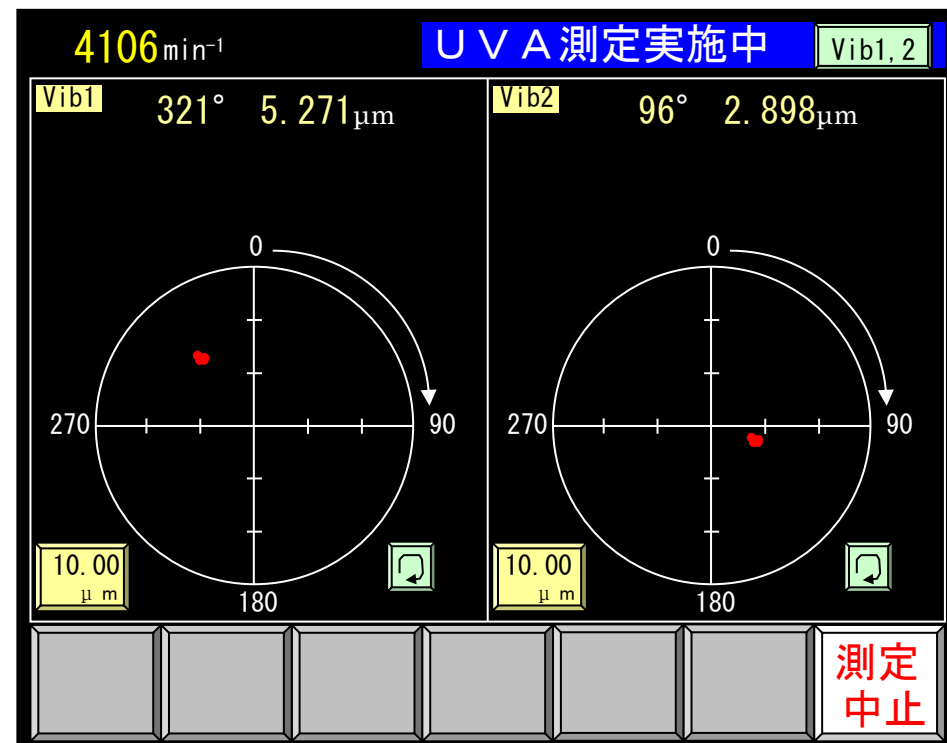
3）後述2-2項の図 - 4に示すアンバランス振動分析で，その影響の様子を確認できます。**いずれにしても，回転数の変動原因を調査し，その後のバランシング作業を進める**必要があります。

写真－4 SB-7006Rseries

2-2 アンバランス振動分析

アンバランスの**振動ベクトルが変動する**と，前項で述べた如く**バランシング精度に直接的に影響**があります。

このため，弊社製品には**アンバランス振動を分析しその変動幅から当該機械がバランス修正可能であるかを判断します。**

1) 測定を開始前に図-1に示す管理値を設定します。
2) **振動ベクトル**を自動的に測定して，図-1の様に**連続的にプロットし，そのバラツキ幅を記録します。** 記録時間は，軸受けの熱変形を除き，30sec程度で判断可能です。
3) 測定結果バラツキ幅が管理値内であれば，バランシング作業に移行します。
4) 管理値を超えている場合は，その原因調査をするため，2-3項の調和振動分析に移行します。

図－1　アンバランス振動分析

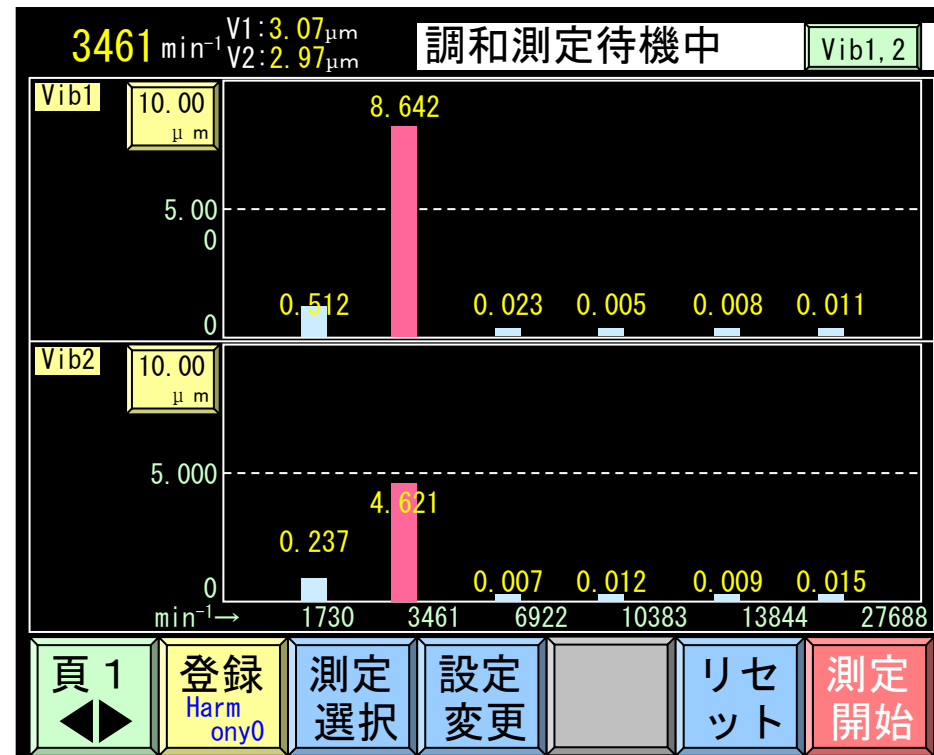
2-3 調和振動分析

回転機械から発生する様々な周期振動を調和振動分析して，振動の主成分がアンバラランス振動によるものか，又は別の原因であるかを調査します。

1) 測定を開始前に管理値を設定します。

2) 図-2に調和振動分析の例を示します。 この例では**アンバランス振動が主成分であるので基本的にはバランシング可能です。**

3) しかし，**1/2f低調波，基本波f，第2高調波2fの成分が見られます。** 基本波fはバランシングにより低減可能ですが，**1/2f，2fの成分はアンバランス以外の振動成分なので，バランシングによる効果は期待できません。**

4) 基本波f以外の振動成分が支配的で，バランシングを試みても振動が低減しない場合は，ミスアライメント，軸受けの曲がり，軸受け固定ボルト等のガタなどが推察されます。 詳しくは日本プラントメンテナンス協会発行の「設備診断技術」を参照して下さい。

図－２　調和振動分析

2-4 多速度分析

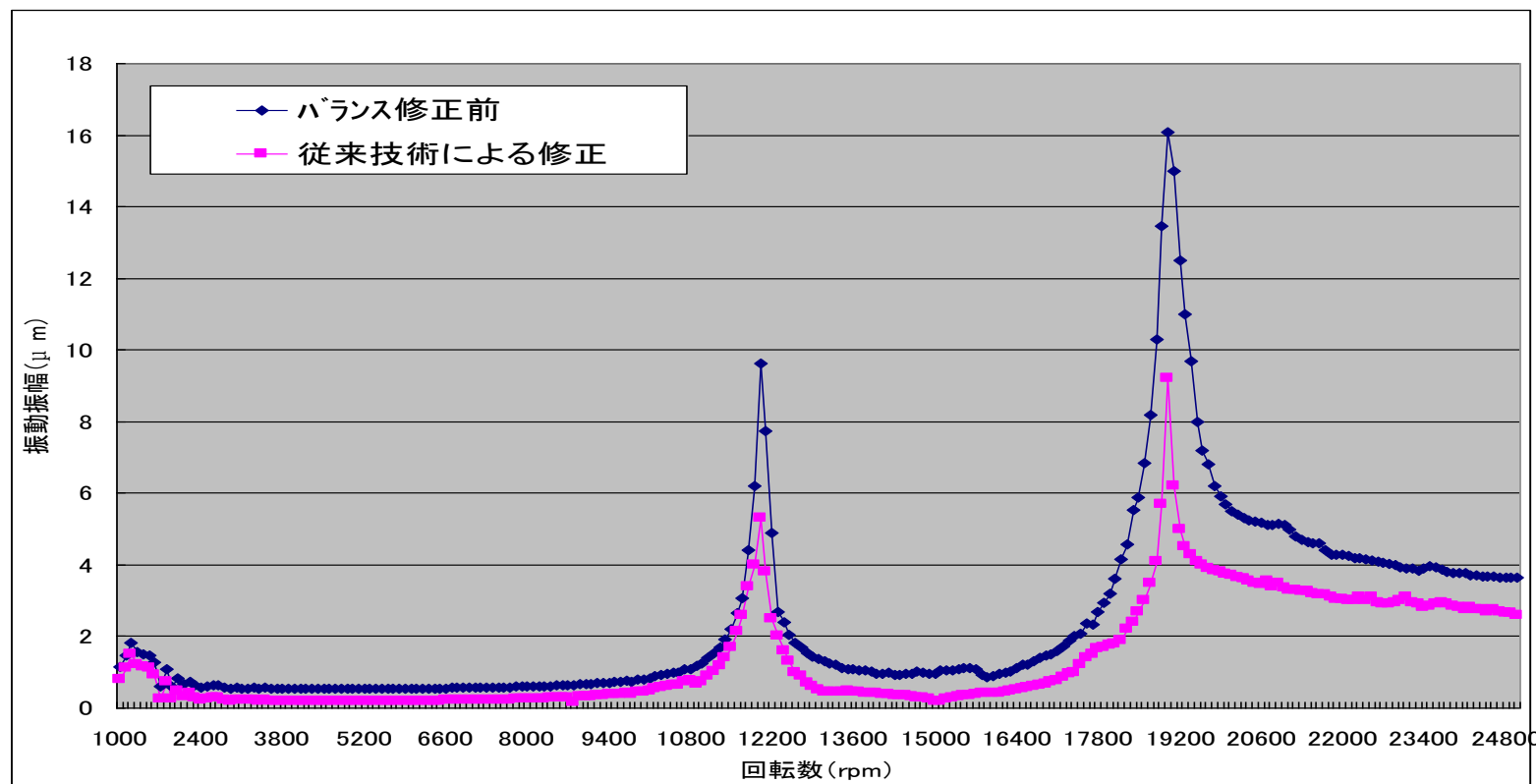
多速度分析は，ロータの回転速度の変化によって機械から発生する振動ベクトルがどのように変化するかを測定し，その振動形態により異常原因を推定するものです。

1)「加速」モードの測定例

インバータなどで回転速度を制御されている機械設備であれば測定モードを「加速」に設定し，その設備の最大回転速度までの加速時間を30sec程度に設定して測定すると，振動の主原因がアンバランスであれば図-3に示す振動ベクトルを取得できます。

2)「減速」モードの測定例

また，速度制御できない機械設備では，測定モードを「減速」に変更し設備の電源を遮断してロータの慣性による自然減速時の振動ベクトル取得する方法もあります。

3) 取得した振動ベクトルから機械振動を抑えるバランシングの方法が，多速度バランシングです。

図－3 多速度法による振動波形の取得

4) 回転-振動変位特性が二次曲線となった場合

図-3に示すように，機械設備の回転停止状態から実用最高速度までの，回転-振動変位特性を取得した結果，**10,000rpm以下の回転領域では，機械の発生する振動の主原因はアンバランスであると云えます。**この場合のバランシングは，試験回転速度を**機械設備の実用最高速度で一定速回転させ，2面バランシングは可能です。**

5) 回転-振動変位特性に一次曲げモードを含む場合

図-3のように，1次曲げモードを含む回転速度-振動変位特性を取得した場合は，**一定速回転でのバ ランシングは困難です。** この場合は，弊社が推奨する**多速度・多面バランシング**を利用すれば全回転領域にわたるバランシングが可能です。

6) FFTによる周波数分析

図－4　周波数分析

3. アンバランス測定角度の表し方について

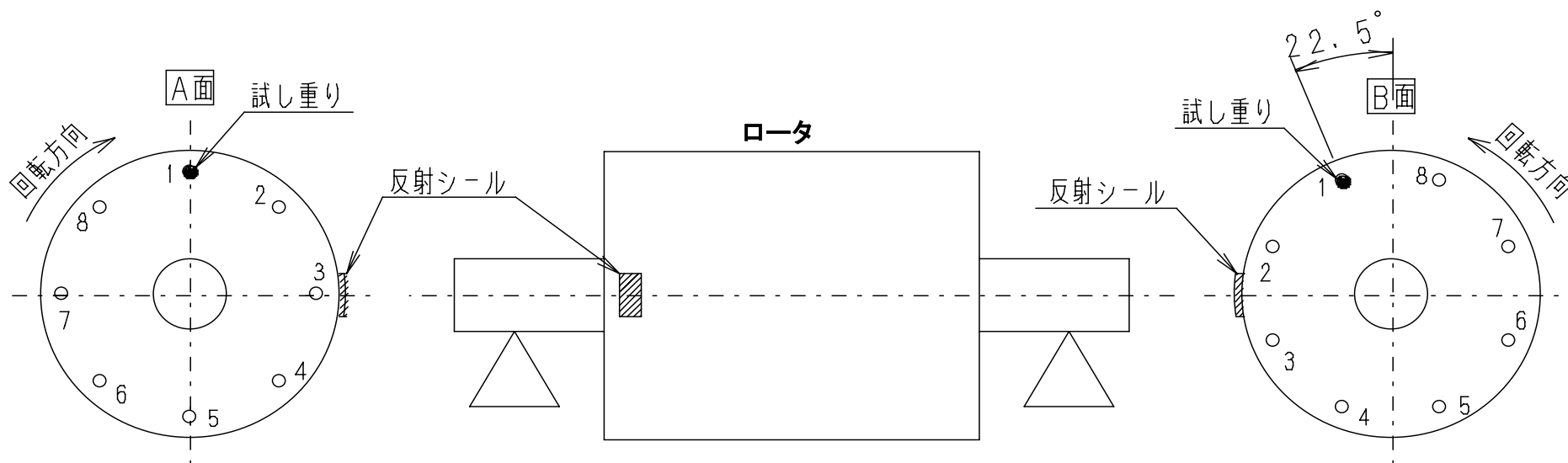
弊社製品はバランシングの操作ミスを防ぐ目的から，**他社製品と異なる機能**があります。

1**)** **反射シールと試し重りの取付角度の相互関係**は一切ありません。

2) 出荷時の角度目盛の設定は，**ロータの「 回転方向に増加 」と設定**しています。 他社製品と同様に「回転方向に減少」に設定する事も選択可能です。

3) 付加測定(TEST1 , 2)の試し重りの取付角度は，それぞれ任意の角度に取付て下さい。 弊社製品は，**各修正面の任意の角度に取付けた試し重りの角度が 0° (分力の場合は1番) と自動的に認識されます。**

4) 上記の2項は，**他社製品と同様の設定も可能**ですが，各修正面に取付けた，**試し重りの設置角度差を正確に入力しないとバランシング誤差が発生し**，バランシング精度が低下します。

A面
試し重り
回転方向
反射シール
ロータ
反射シール
試し重り
B面
22.5°
回転方向

図－5　2面分力修正の例

4. 修正面数の選択方法

1) 従来から，剛性ロータのバランシングに於ける**修正面数の選択は，ロータ長 Lと直径Dの比率L/Dと，ロータの実用最高回転速度**から決定されてきた。

2) 近年の産業機械は高速化･大型化が進み，それらの機械装置の**主軸剛性は益々低下して弾性ロータ化してきた。**

3） 回転数が≦3,600rpm で L/D≦0.5の主軸バランシング

剛性ロータの領域で，一定速法を利用して1面バランシングは可能です。

図－６ 修正面数とバランシング方法の選択

4） 回転数が≦9,000rpmで L/D≦2の主軸バランシング

剛性ロータの領域で，一定速法での，２面バランシングは可能です。

5） 回転数が≧9,000rpmで L/D≧2の主軸バランシング

一般的なロータは，**回転速度が9,000rpmを超えてくると，徐々に剛体を維持できなくなり**，**弾性ロータに変身して，一次曲げ振動モードが現れ始めます。** この条件下でのバランシングは，従来の**一定速度バランシング法では，もはや満足なバランシングは不可能**となり，多速度・多面法を導入したバランシングが必要となります。

6） 図-6に，**弊社の経験に基づく，修正面数の選択**とバランシング法の選の目安を示す。

5. 付加測定時の，試しおもり質量の選定基準

日本，米国の標準規格(JIS B0905-1992，ANSI)による剛体ロータの釣合い等級G(品質)は，その最高回転速度ωに応じて，ロータの許容残留釣合い量U(g-mm)として，経験的に定められています。

そこで，試し重り質量Ut(g-mm)は，上述の**ロータの許容不釣合い量U(g-mm)の5倍程度とした，弊社の経験値**を推奨し，以下にその計算例を示します。

1）釣合い等級Gは許容残留比不釣合いe(μm)と最高回転速度ωの積(G＝e×ω)となる。

2）許容残留不釣合いe(μm)は，e(μm)＝U(g-mm)/M(g)となるので，釣合い等級Gは，ロータ質量をM(g)として　G＝e×ω＝(U/M)×ω　**∴U＝**G×M/ω＝60×G×M/2π×rpm**＝9.55×G×M/rpm となる。**

3）ここで，バランシングを試みるロータの許容不釣合い量UをG＝1.0，質量をM＝3,000g として回転速度を rpm＝30,000 とした計算例は，U＝9.55×3,000g×1.0mm/s÷30,000 ＝1g-mm となります。

４）試し重り質量UtはU×5倍とするとUt＝U×5＝1g-mm×5≒5g-mm，U×10とするとUt＝U×10＝1g-mm×10≒10g-mmとなりますが，軸受けには不要な機械的ストレスを避けるため，U×5を選択し，5g-mmを付加する事が望ましい。

5）ここで，修正半径＝25mmとするとUt÷25mm＝5g-mm÷25mm≒0.2 gとなり，試し重り質量Ut(g-mm)は0.2gを付加します。

6）弊社製品は，**付加測定の結果その振動ベクトル量の変化が20%以下のときは，影響係数の計算誤差が発生する恐れがあるため，エラーを発報して，試し重り質量Utの増量，設置角度の変更**を要求をします。

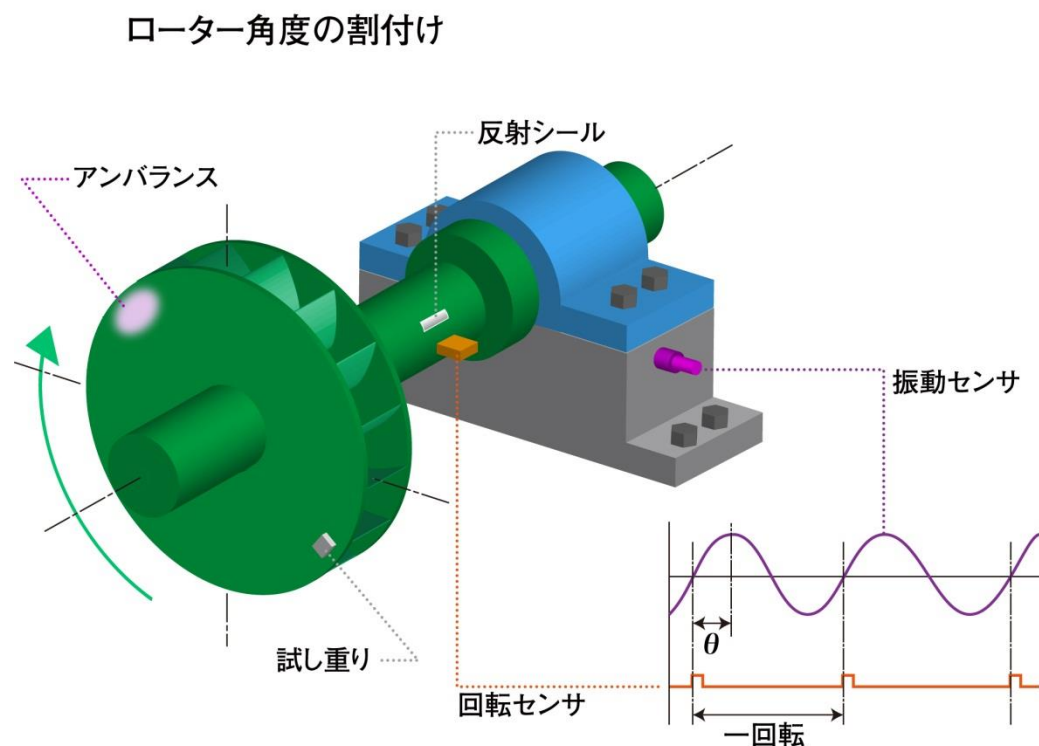
6. 付加測定時に，機械ストレス（振動）を増大させない方法

1）初期測定時に，振動ベクトル(A0＝270°2.0μm)を得たとします。ここで，位相270°の意味はロータに貼り付けた反射シール端から，振動ベクトルの最大値2.0μmまでの位相角度を示しているが，振動と回転センサー相互間の設置角度のズレは考慮されていません。

2）振動 と回転センサーの取付け角度を図-7の如く，同一方向に設置して，初期振動ベクトルA0=270°2.0μmを取得したとします。

3）この場合，試し重りUt を設置する角度θtは θt=θ±180°=270°±180°=90°となる。つまり，反射シール端から90°進んだ付近に試し重りを付加すれば，振動は低減する方向となります。

4）但し，試し重りの質量については不明です。５項の試し重りの選定を参照して下さい。

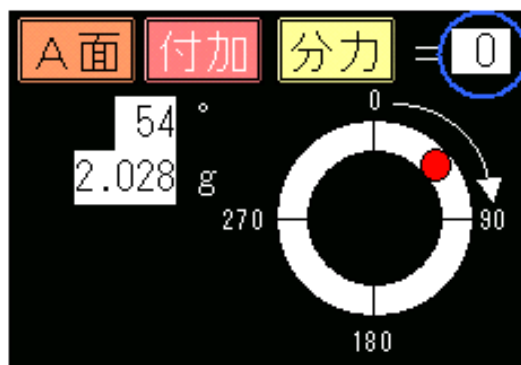
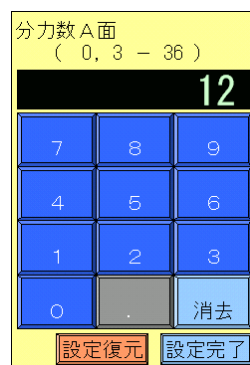
5）ただし，危険速度の前後で振動ベクトルは反転するので注意が必要です。

図－7 送風機のバランシング

7．あらゆる状況に対応した分力修正機能を装備

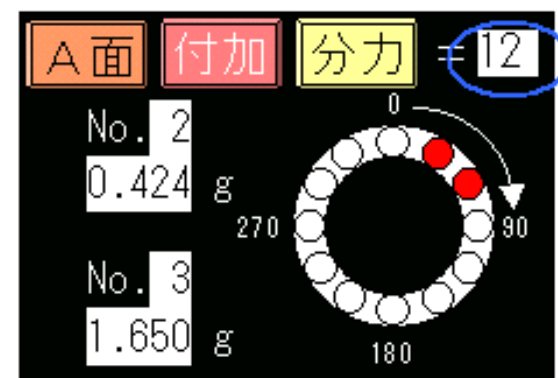
等分力修正	分力の間隔が等間隔（等配）の回転体に使用します。
不等分力修正	分力の間隔が等間隔でない回転体に使用します。任意の分力間隔を設定可能です。
分力番号選択	既に修正に使用していたり，その他の理由で使用できない分力番号がある場合に，指定した分力番号を除いて修正演算をすることが可能です。

7-1 等分力修正の設定

分力の間隔が等間隔の回転体のバランシングに使用します。

1) 「分力」キーを押すと，図-8Aの分力数入力画面が表示されますので，任意の分力数を設定して下さい。
2) 分力数を0に設定すると，図-8 の極座標修正になります。
3) 分力数を3～36に設定すると，図-9 の等分力修正に移行します。
4) 不等分力修正は7-2項を参照してください。

分力数の設定を12分力に
して再計算

図－８　極座標修正

図－8A　分力入力

図－９ 等分力修正

7-2 不等分力修正の設定

分力の間隔が等間隔でない回転体のバランシングに使用します。任意の分力間隔に設定可能です。

1) 分力方法が,「不等分力」に設定されている場合は, 図-8Aの分力数を入力すると, 図-10 の画面に移行します。なお, ディフォルト値は等分力の値に設定されています。

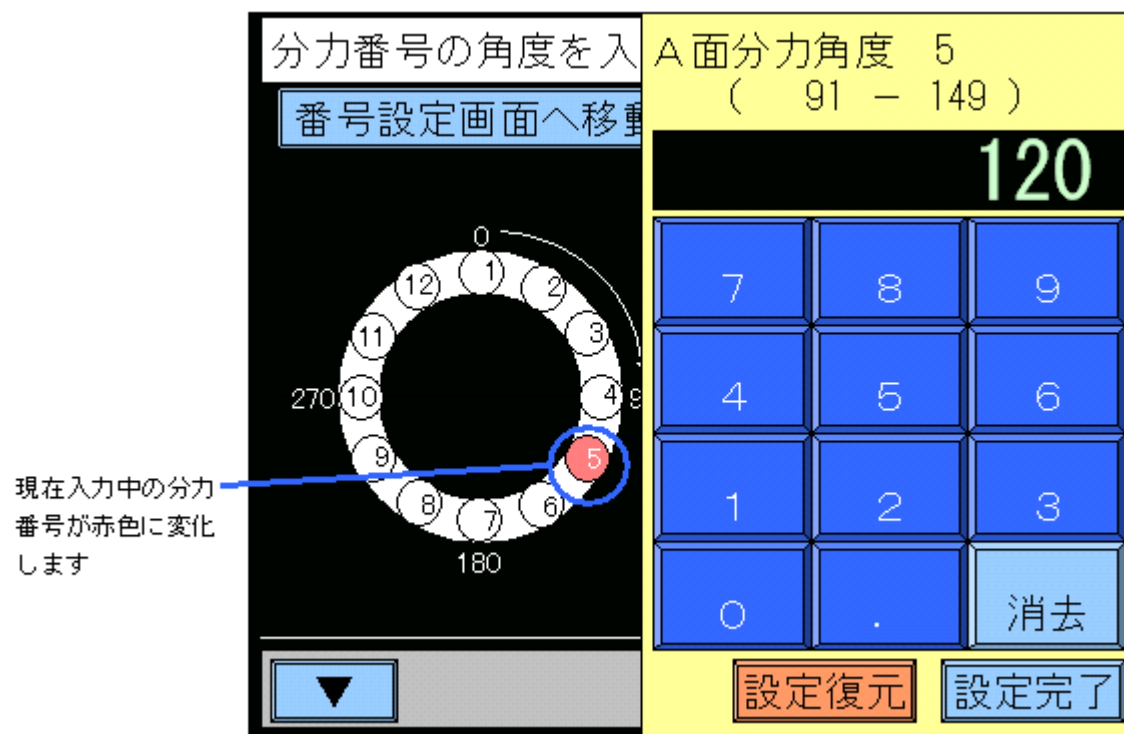
2) 図-10で, 変更したい分力角度キーを押すと, 図-11の画面に移行するので, 各分力角度を任意の角度に変更して下さい。

3)「等分力」となっている場合は, 図-10 の画面に移行しませんので,「設定変更」キーを押し「不等分力」に変更して, 上記 2)項 を実行して下さい。

4) 各分力角度の変更が完了したら,「設定完了」キーを押して下さい。

図－8A 分力入力

図－10 不等分修正の入力画面

5) 図-10の設定画面で，変更したい分力角度キーを押すと図-11の10キー画面が表示されます。入力範囲を確認して，各分力角度を入力してください。

図－11 分力角度入力画面

7-3 分力番号選択

すでに，修正重りが装着され，使用できない分力角度を無効にし，分力演算を行います。

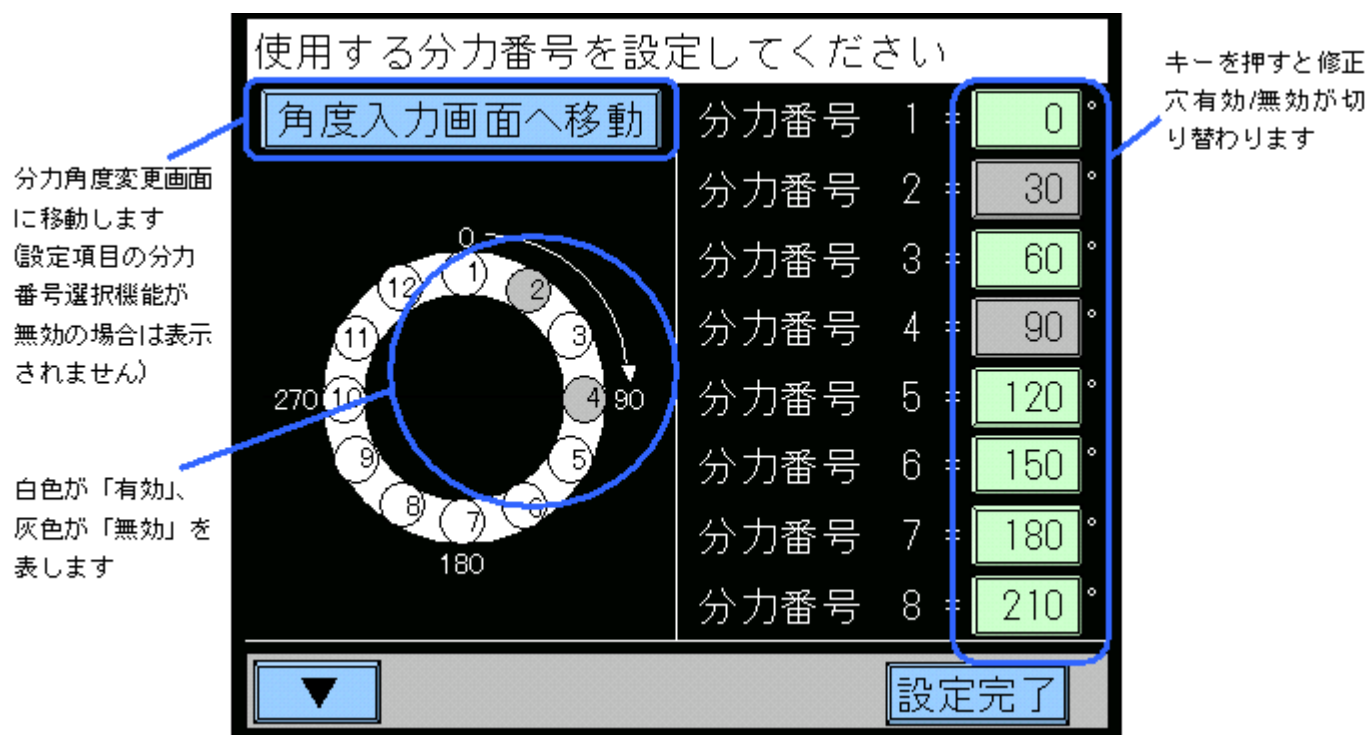
1）分力番号選択機能が，「有効」に設定されている場合，使用できない分力角度を無効にして，分力修正を実施することができます。

2）修正画面の「分力キー」を押すと，図-8Aの分力入力画面に移行します。分力数を入力すると，図-12の画面に移行する（分力方法が「等分力」の場合は図-13に移行）ので，使用できない分力番号 キーを選択して，「 設定完了」で測定待機画面に移行します。

3）ここで，図-12の「番号設定画面へ移動」キーを押すと，図-13「修正穴有効／無効設定」の画面に移行します。

図－12 分力角度の変更画面

5) 「分力番号設定画面」では，使用する分力番号を決定します。「分力番号」キーを押すと，キーの色が，緑→灰→緑を繰返します。緑の場合は「有効」，灰の場合は「無効」です。

6) 分力方法が「等分力」の場合は，図-11 「分力角度入力画面」には移行せず，図-13 の画面に移行します。

図－13 分力番号有効／無効設定画面

8. 弊社フィールドバランサーの一覧表

SPECIFICATION	型式	振動入力CH数	修正面数	修正方式	回転数(min⁻¹)	分解能(μ m)	修正方法	バッテリ駆動
弾性ロータ& 超精密機械用	SB-7705RS	2・4・6	1～4面	一定速／多速度	600～240,000	0.001	極座標／分力(3～36)	－
	SB-7705RSB				600～240,000			○
	SB-7705RH				600～120,000			－
	SB-7705RHB				600～120,000			○
	SB-7705R				600～61,000			－
	SB-7705RB				600～61,000			○
一般回転体& 精密機械用	SB-7006RS	2	1～4面	一定速	180～400,000	0.001	極座標／分力(3～36)	－
	SB-7006RH				180～120,000			－
	SB-7006R				180～61,000			－
	SB-7006RL				60～61,000			－
	SB-8802RH				180～120,000			－
	SB-8802RHB				180～120,000			○
	SB-8802R				180～61,000			－
	SB-8802RB				180～61,000			○
	SB-8802RL				60～61,000			－
	SB-8802RLB				60～61,000			○
	SB-8003R	2	1～2面		180～61,000	0.001	極座標／分力(3～99)	－
	SB-8002R				180～61,000			－
	SB-8002RB				180～61,000			○
一般回転体& 研削砥石兼用	SB-8802RHG	2	1～4面(砥石1面)	一定速	180～120,000	0.001	極座標／分力／ﾊﾞﾗﾝｽ駒移動	－
	SB-8802RHGB				180～120,000			○
	SB-8802RG				180～61,000			－
	SB-8802RGB				180～61,000			○
	SB-8802RGW		1～4面(砥石2面)		180～61,000			－
	SB-8802RGWB				180～61,000			○
研削砥石専用	SB-8001G	1	砥石1面	一定速	180～10,000	0.001	バランス駒移動	－
	SB-8001GB				180～61,000			○